

Propriedades físicas e mecânicas de compósitos de cimento reforçados com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*)

Physical and mechanical properties of cement composites reinforced with curauá fiber (*Ananas erectifolius*)

A.M. Weber^{a†}, A. Matoski^a, L. Cechin^a, R.B. Tokarski^a

^a Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil

[†] Autor para correspondência: alessandramoniqueweber@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste estudo é a caracterização de compósitos cimentícios com reforço de fibras longas de curauá. Estes compósitos são constituídos de matriz cimentícia composta por cimento CP V-ARI, areia, água e superplastificante. A substituição de materiais como o cimento por reforços de materiais naturais como a fibra de curauá se tornam objetos de pesquisa por reduzirem o custo, serem biodegradáveis, gerarem baixa energia em sua produção e possuírem propriedades como baixa densidade e capacidade de isolamento térmico e acústico. Para a produção dos compósitos laminados, foi determinada a influência da fração volumétrica de fibras no compósito em teores de adição de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. Como metodologia moldou-se o compósito em cinco camadas, intercalando três camadas de matriz cimentícia e duas camadas de reforço de fibra de curauá. Os ensaios avaliaram o comportamento físico e mecânico dos compósitos em diferentes dias (7, 28 e 90 dias). Observou-se que o teor de fibra de curauá de 10%, com essa metodologia, apresentou resultados compatíveis à referência com relação à resistência à flexão aos 90 dias, sendo indicado dessa forma a cura dos painéis por 90 dias para aplicação. E a redução na massa específica dos painéis foi possível, de forma significativa, com as adições acima de 10% de fibra de curauá.

ABSTRACT

The objective of this study is the characterization of cementitious composites with reinforcement of long fibers of curauá. These composites consist of a cement matrix composed of CP V-ARI cement, sand, water and superplasticizer. The replacement of materials such as cement with reinforcements of natural materials such as curauá fiber become objects of research because they reduce the cost, are biodegradable, generate low energy in their production and have properties such as low density and thermal and acoustic isolation capacity. For the production of laminated composites, the influence of the volumetric fraction of fibers in the composite was determined at addition levels of 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. As a methodology, the composite was molded in five layers, interspersing three layers of cement matrix and two layers of curauá fiber reinforcement. The tests evaluated the physical and mechanical behavior of the composites on different days (7, 28 and 90 days). It was observed that the curauá fiber content of 10%, with this methodology, presented results compatible with the reference in relation to the flexural strength at 90 days, thus indicating the curing of the panels for 90 days for application. And the reduction in the specific mass of the panels was possible, in a significant way, with the additions above 10% of curauá fiber.

Palavras-chave:

Cement composites;
Laminados; Fibras
naturais.

Keywords:

Cement composites;
Laminates; Natural
fibers.

Introdução

A atual apreensão com as adversidades ambientais tem desencadeado diversas pesquisas e, portanto, o surgimento de novos materiais pensando na racionalização de matérias-primas. No setor da construção civil, as pesquisas abrangem o aproveitamento de diversos tipos de resíduos, materiais complementares, com o objetivo de maximizar as propriedades do produto, promover a sustentabilidade e reduzir custos. Com o desenvolvimento de novos compósitos cimentícios reforçados, o produto final pode ser utilizado como telhas planas ou onduladas, divisórias internas, revestimentos externos, entre outros, desde que atendam às especificações das normas. Como reforço do compósito podem ser utilizadas fibras ou partículas dos mais diversos materiais, sendo o aço, fibra de carbono, fibra de vidro, entre outros os mais utilizados na construção civil.

Devido à demanda de novas tecnologias que visam suprir a falta de materiais que possuam propriedades combinadas, o mercado de compósitos é um setor em ascensão. Os materiais compósitos apresentam potencial por conseguirem resistência elevada e rigidez, mas com o diferencial de baixa massa específica, ao ser feita a comparação com estruturas convencionais [1].

De acordo com Tian et al. [2] a matriz cimentícia utilizada em compósitos é constituída basicamente de cimento Portland e água podendo conter agregados finos, superplastificantes e aditivos. Os aditivos indicados para o uso em pastas cimentícias reforçadas com fibras naturais ou artificiais são: superplastificantes, aceleradores de pega e protetores de corrosão [3].

Além da demanda tecnológica, a apreensão atual com as adversidades ambientais desencadearam diversas pesquisas. De acordo com Essabir et al. [4] as empresas estão cada vez mais voltadas para o cuidado com o meio ambiente e o desenvolvimento de produtos sustentáveis, e os consumidores estão se conscientizando com relação aos produtos de fontes renováveis [5]. A utilização de fibras naturais são atrativas por serem renováveis, visto que atualmente é crescente a preocupação com a degradação ambiental decorrente dos processos industriais. Ressalta-se que a adição de fibras vegetais como reforço pode colaborar com aspectos mecânicos do compósito, como a ductilidade [6].

Entre os materiais ecológicos atualmente há um destaque para o uso de fibras provenientes do setor florestal ou agrícola, pois possuem vantagens quando comparadas as fibras sintéticas e industriais (carbono, vidro e aramida) [7,8,9]. Entre as vantagens as fibras naturais usualmente apresentam baixa densidade, bom isolamento e redução de custo [10]. Ainda, as fibras sintéticas utilizadas em compósitos estão perdendo espaço para as fibras naturais devido à escassez da matéria-prima originária do petróleo [9]. Dessa forma, as fibras naturais são uma alternativa ao uso de fibras sintéticas, promovendo benefícios ambientais e econômicos [11].

A fibra natural utilizada no estudo é proveniente da planta curauá (*Ananas erectifolius*) (Figura 1) da família das bromeliáceas, característica da região Norte e Centro-Oeste do Brasil. As folhas da planta são coletadas de forma manual para serem levadas ao processo de extração em maquinário triturador.



Figura 1 - Planta de curauá à esquerda (Soltan et al., 2017).

Segundo Achour et al. [7] e Peças et al. [5] a preocupação quando se trabalha com fibras e materiais cimentícios é quanto a sua aderência, sendo este comportamento beneficiado através de tratamentos que removam materiais amorfos na fibra, resultando em uma superfície externa limpa e áspera. A utilização do tratamento da fibra com água quente mais a utilização de cloreto de cálcio resultou nas melhores propriedades físicas e mecânicas em painéis de cimento reforçados com a fibra kenaf (*Hibiscus cannabinus*) (fibra natural de origem africana), quando este foi comparado com painéis apenas com o tratamento de água quente ou apenas com o uso de cloreto de cálcio [12].

Em estudos, foi possível melhorar a aderência de compósitos utilizando bambu mosso e fibra de curauá tratados com imersão em água quente, conseguindo boa compatibilidade entre o cimento e as respectivas fibras [13,14]. Conforme Zukowski et al. [15] o tratamento com água quente da fibra de curauá melhorou as propriedades mecânicas do compósito cimentício. Outros pesquisadores [16,17,18,19] obtiveram melhora nas propriedades mecânicas de compósitos com fibras naturais pela adição de cloreto de cálcio à mistura.

Diferentes métodos podem ser empregados para aumentar a aderência do cimento com a fibra natural, sendo o método considerado mais eficaz a associação de pré-tratamento da fibra natural com o uso de acelerador de pega na mistura cimentícia [20].

Considerando esses aspectos, o objetivo do presente estudo foi avaliar a utilização da fibra vegetal de curauá (*Ananas erectifolius*) como reforço em compósitos cimentícios laminados e analisar o desempenho físico e mecânico em diferentes dias de cura.

2. Materiais e Métodos

O cimento utilizado na matriz fibrocimento é o cimento Portland CP V-ARI de alta resistência inicial em conformidade com a norma brasileira NBR 5733 [21] e NBR 5737 [22]. A areia utilizada é classificada como areia média e sua massa específica medida foi de 2,63 g/cm³, com partícula máxima de 1,18 mm. A água utilizada foi da rede pública. O aditivo superplastificante foi o MC-PowerFlow 3100 do tipo PCE (polímeros policarboxilatos), devido a este apresentar fluidez e alcançar elevadas resistências [23]. O teor de superplastificante adotado foi de 3% em relação à massa de cimento. Foi utilizado o acelerador de pega cloreto de cálcio em teores de 4% da massa de cimento com fim de reduzir a alcalinidade (melhorando a compatibilidade entre a fibra e a matriz cimentícia) e elevar a resistência.

As fibras de curauá estavam disponíveis em fibras longas de aproximadamente

600 mm e embaraçadas (Figura 2). As fibras passaram por processo de beneficiamento manual antes de serem utilizadas, sendo lavadas por imersão em água à 80 °C durante 40 minutos para eliminar qualquer resíduo. Em seguida as fibras foram secadas em estufa à 40 °C. Após o processo foram desembaraçadas com escova de cerda de aço e então cortadas manualmente e separadas. Os cortes foram de aproximadamente 450 mm, baseados no tamanho do painel.

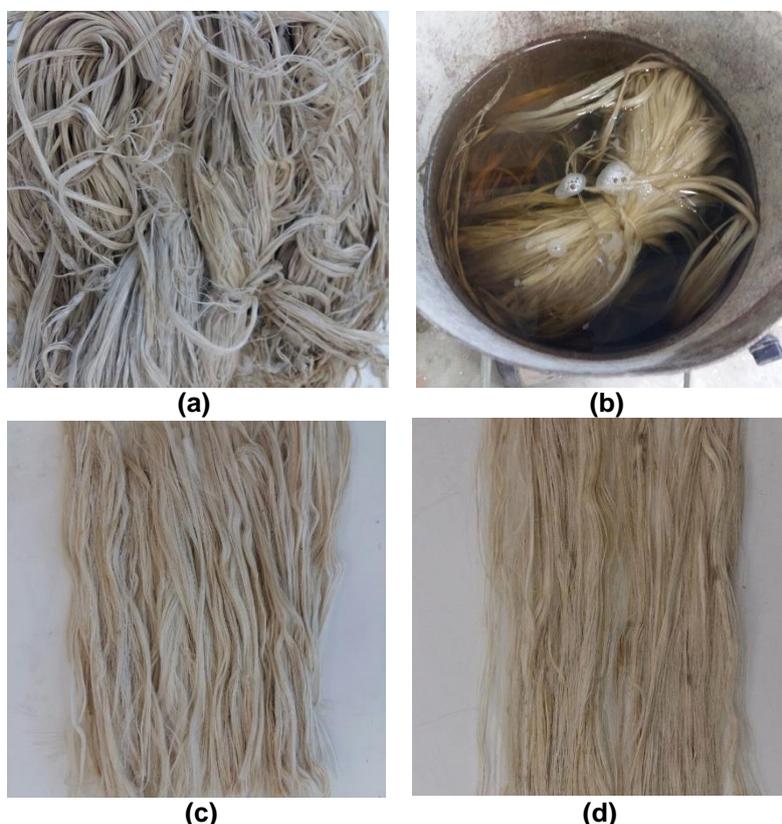


Figura 2 - Processo de beneficiamento da fibra de curauá: (a) fibras como foram recebidas; (b) fibras em imersão em água quente; (c) fibras após processo de preparação; (d) fibras cortadas e penteadas para o uso como reforço.

As formulações utilizadas na produção dos compósitos basearam-se em estudos anteriores de Lima et al. [24] e Melo Filho et al. [25]. As quantidades de materiais de reforço para cada formulação estão indicadas na Tabela 1. Os compósitos foram moldados com diferentes frações volumétricas de fibras, sendo essas: 0, 5, 10, 15 e 20%. A porção de fibras foi distribuída em duas camadas distintas nos compósitos.

Tabela 1 - Delineamento experimental dos compósitos laminados.

Formulação	Traço (cimento:areia)	Fator água/cimento	Volume de fibras (%)
P0	1:1	0,40	0
P5	1:1	0,40	5
P10	1:1	0,40	10
P15	1:1	0,40	15
P20	1:1	0,40	20

As misturas foram produzidas em um misturador mecânico de bancada com capacidade de 5 L, com duas velocidades. Foram misturados os materiais secos, primeiro

o cimento e em seguida areia por 2 minutos até sua completa homogeneização. O superplastificante e o cloreto de cálcio foram diluídos em água e lançados no misturador lentamente, ocorrendo então a mistura dos materiais durante mais 2 minutos, sendo incorporado o material retido no misturador e misturado novamente por 2 minutos.

Para garantir a espessura planejada das placas de fibrocimento foi realizado o cálculo do volume da placa e com o peso específico da mistura fresca pode-se calcular a massa de cada camada utilizada. O laminado produzido é composto por cinco camadas intercaladas entre a argamassa e as fibras, sendo as fibras dispostas em sentido unidirecional.

Para a produção do laminado foram fabricadas formas de alumínio no tamanho de 450 x 450 mm, com um fechamento que não permitisse a perda do material. Para a moldagem do laminado foi adicionada a argamassa em massa equivalente a camada, e a mesma regularizada com uma espátula e então adicionado a primeira camada de fibras manualmente (Figura 3). Após as fibras, uma nova camada de argamassa foi adicionada seguindo os mesmos passos até a quinta e última camada. Por fim foi realizada a vibração da forma em uma mesa vibratória pelo período de 1 minuto.

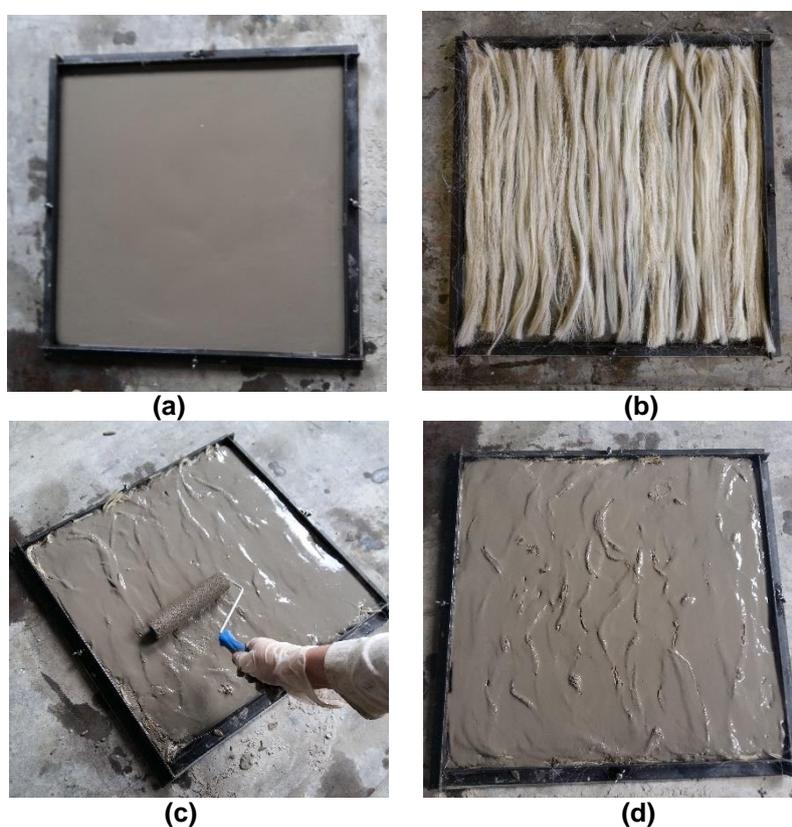


Figura 3 - Produção dos compósitos laminados: (a) primeira camada da matriz; (b) primeira camada de fibra de curauá sobre a matriz; (c) homogeneização da segunda camada da matriz com ajuda de um rolo; (d) moldagem finalizada pronta para vibração.

A caracterização física do compósito foi realizada de acordo com as especificações da ASTM C 948 [26] através de ensaios de absorção de água, densidade e porosidade aparente. Foram testados cinco corpos de prova para cada formulação.

Para as propriedades mecânicas foram realizados ensaios de flexão em 4 pontos, obtendo a resistência a flexão utilizando através da teoria clássica de flexão. Foram ensaiados cinco corpos de prova para cada formulação, seguindo os procedimentos

descritos na RILEM TRF 49 [27]. A velocidade de deslocamento foi de 3 mm/min. Os corpos de prova apresentavam dimensões de 400 x 80 mm (comprimento x largura) e as forças foram aplicadas nos terços do vão, que foi igual a 300 mm.

Tanto os ensaios de caracterização física como mecânica foram realizados nas idades de 7, 28 e 90 dias com objetivo de estudar a evolução das propriedades em função do tempo.

A fim de verificar se existiam diferenças significativas foi realizada análise da variância através de comparação de médias do teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de densidade, absorção de água, porosidade aparente e resistência à flexão dos compósitos com 7, 28 e 90 dias de cura.

A menor densidade aos 90 dias é dada pelo painel P20 (20% de adição de fibra de curauá), com valor médio de 1,71. De acordo com o Teste de Tukey tem-se que aos 90 dias entre P0 e P5 e entre P15 e P20 não há diferenças significativas. Sendo assim, apenas P10 (10% de adição de fibra de curauá) apresenta diferenças significativas de todos os painéis.

Os painéis apresentam redução na densidade conforme é acrescido o teor de volume de fibras de curauá. Isto se deve pela fibra de curauá apresentar menor densidade (1,2 g/cm³) quando comparada a matriz cimentícia, Ferreira et al. [28] utilizou matriz cimentícia com densidade de 2,16 g/cm³. Dessa forma, quanto maior a quantidade de incorporação de fibras, menor a densidade do material, como esperado e já confirmado por outros autores como Colorado e Zapata [29] e Patel e Jain [30].

Tabela 2 - Valores médios das propriedades físicas e mecânicas obtidas dos compósitos laminados com 7, 28 e 90 dias de idade.

Formulação	ps1 (g/cm ³)	Cvar2 (%)	ABS3 (%)	Cvar2 (%)	Pap4 (%)	Cvar2 (%)	σ5 (MPa)	Cvar2 (%)
7 dias								
P0	1,94A	1,33	12,04D	3,53	23,36D	3,18	12,71A	10,15
P5	1,91A	1,29	13,46CD	3,33	25,67CD	3,06	8,61B	25,88
P10	1,76B	2,44	15,83C	6,88	27,81C	3,91	10,41AB	19,92
P15	1,61C	2,80	19,55B	8,44	31,43B	5,92	5,01C	42,02
P20	1,47D	3,51	25,90A	11,58	38,00A	9,13	3,78C	33,19
28 dias								
P0	1,92A	0,35	13,31B	2,24	25,61B	1,97	14,33A	9,16
P5	1,89A	0,85	14,38B	4,97	27,20B	4,50	14,10A	27,13
P10	1,83B	0,37	14,19B	2,48	25,97B	2,51	9,24BC	20,16
P15	1,66C	5,31	19,06A	11,26	31,45A	6,93	10,79AB	21,13
P20	1,64C	3,98	19,32A	13,88	31,63A	11,19	4,71C	40,55
90 dias								
P0	2,01A	0,25	10,25B	1,14	20,62B	1,03	13,36AB	18,68
P5	2,00A	0,79	10,27B	2,68	20,50B	1,99	14,61AB	12,82
P10	1,90B	1,92	12,63A	6,98	23,94A	5,20	16,15A	33,14
P15	1,74C	1,79	16,21A	4,88	28,20A	3,78	9,53BC	23,94
P20	1,71C	5,57	16,79A	24,00	28,59A	17,56	5,64C	16,10

¹ Densidade

² Coeficiente de variação

³ Absorção de água

⁴ Porosidade aparente

⁵ Tensão de primeira fissura

* Valores seguidos pela mesma letra dentro da mesma coluna, para a mesma idade, não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De 7 para 90 dias em todos os casos ocorre o aumento da densidade, fato que ocorre devido à hidratação contínua do cimento. Os valores de absorção de água e de porosidade aparente aumentam conforme o aumento de volume de fibras no compósito; isso se deve devidos às propriedades hidrofílicas da fibra natural [31].

O painel referência (P0) apresenta valor médio inferior de porosidade e absorção de água e superior de densidade quando comparados com os painéis com adição de fibra de curauá. Justifica-se esse comportamento pelas reações do cimento (silicato tricálcico e do silicato dicálcico com a água), que resultam em cristais que preenchem a pasta e a tornam mais impermeável, mas com a incorporação de fibra vegetal, esta pode interromper o fechamento dos cristais na pasta e torná-la mais porosa e menos densa.

A absorção de água e porosidade aparente aumentam conforme o aumento de volume de fibras no compósito, segundo Marvila et al. [32]. esse comportamento é esperado ao se adicionar fibras naturais, e pode ser amenizado com o uso de pré-tratamentos na fibra. Aos 90 dias, o painel P20 (20% de adição de fibra de curauá) apresenta a maior média de absorção de água, tendo como valor médio 16,79%, e a maior média de porosidade aparente com 28,59%. E o painel com adição de fibras P5 (5% de adição de fibra de curauá) apresenta as menores médias, aos 90 dias, de absorção de água e porosidade aparente.

Pelo Teste de Tukey tem-se que aos 90 dias de idade os compósitos P10, P15 e P20 não diferem entre si significativamente tanto para as propriedades de absorção de água como porosidade aparente. O mesmo acontece entre os compósitos P0 e P5.

A Figura 4 demonstra a relação entre os valores médios de densidade com a tensão de primeira fissura dos compósitos com adição de fibra de curauá aos 90 dias de idade.

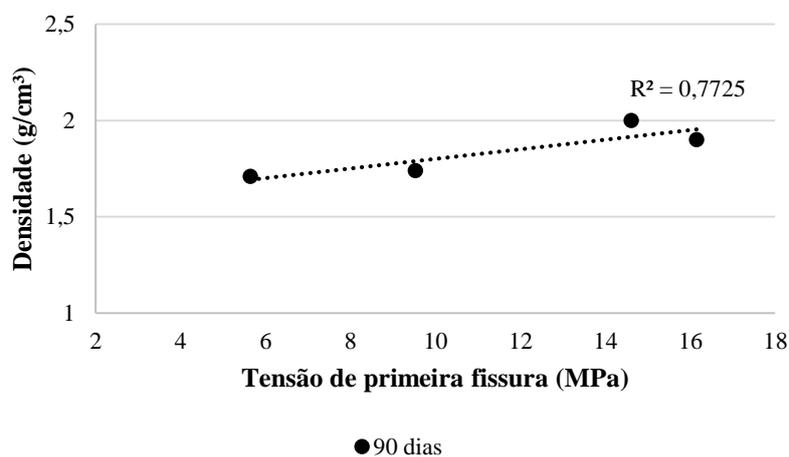


Figura 1 - Relação da densidade com a tensão de primeira fissura aos 90 dias de idade.

A densidade é inversamente proporcional à tensão de primeira fissura nos compósitos cimentícios com adição de fibra de curauá. Para essa relação o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,77, indicando que 77% dos dados explicam o modelo determinado.

Ao avaliar a relação de tensão/densidade do compósito P0 é obtido uma relação de 7,46 MPa/g/cm³ aos 28 dias, o qual é alcançado pelo P5 com exatamente o mesmo valor. Já aos 90 dias, o compósito P0 apresenta uma relação de 6,65, compósito P5 com relação de 7,31 e P10 com relação de 8,50. Demonstrando assim, a importância de considerar a influência que a densidade do material apresenta para o desenvolvimento de produtos mais leves, com resistência equiparável ou superior ao avaliar a relação resistência/densidade.

Analisando os valores médios de tensão de primeira fissura dos compósitos, observa-se um ganho de resistência com o tempo. De 28 dias para 90 dias, há um ganho de resistência nos painéis com 10% de adição de fibra de curauá, sendo também a maior média de tensão de primeira fissura aos 90 dias. Esse ganho de tensão, de 28 para 90 dias também foi observado por Akinwande et al. [33].

Aos 90 dias a maior resistência é para o compósito P10 (10% de adição de fibra de curauá) de 16,15 MPa. Melo Filho et al. [25] com 6% de fibra de sisal alcançou aos 28 dias 18,73 MPa. Lima et al. [34] com 3% de fibra de sisal obteve tensão de primeira fissura de 10,88 MPa aos 28 dias, para a mesma idade 5% de adição de fibra de curauá resultou em uma tensão de 14,10 MPa.

O compósito P20 apresentou o menor valor de resistência com média 5,64 MPa aos 90 dias. De acordo com a análise da variância, aos 90 dias, os painéis P15 e P20 não apresentaram diferenças significativas. Assim como também os compósitos P0, P5 e P10 não apresentaram diferenças entre si aos 90 dias de idade.

Dessa forma, pode-se considerar que nessas situações a fração volumétrica limite de fibra de curauá é de 10%. Com base no diagrama de tensão x deformação (Figura 5) foi avaliado a resistência à flexão do compósito laminado com 10% de adição de fibra de curauá em comparação com o compósito referência. O compósito P10 apresentou um comportamento elástico-linear até o ponto que ocorre a primeira fissura da matriz, e então o compósito continua se deformando ocorrendo várias fissuras, demonstrando em alguns casos o aumento da tensão após a primeira fissura.

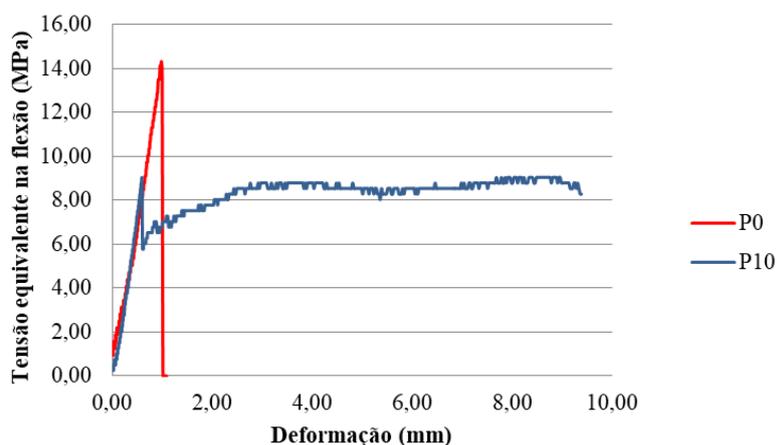


Figura 2 - Influência da adição de 10% de fibra no comportamento tensão x deformação nos compósitos sob flexão aos 28 dias de idade.

Para o compósito P0 a tensão de primeira fissura corresponde ao momento de ruptura do painel. Para o painel com adição de fibras, ao invés de ocorrer uma ruptura após a tensão de primeira fissura, ocorre uma queda de carga e o compósito continua suportando cargas, obtendo uma maior deformação. Segundo Lima et al. [34] após a

primeira fissura, a capacidade de carga é transferida para as fibras, ocorrendo um processo de tensionamento nas fibras até o momento de ruptura que acontece de forma gradual pelo arrancamento das fibras.

Os painéis cimentícios com a adição de fibra de curauá colaboram para um compósito com comportamento dúctil, com maior deformação após o aparecimento da primeira fissura, aumentando a capacidade de carga pós-fissuração. Esse resultado corrobora com o resultado de outros pesquisadores [35,36,37], que destacam o uso de fibra natural em materiais cimentícios para maior ductilidade do material.

4. Conclusão

O desenvolvimento do compósito cimentício reforçado com fibras longas de curauá acarreta relações de resistência/densidade iguais ou superiores aos compósitos sem adição de fibra de curauá. Os compósitos reforçados com 10% em volume de fibra de curauá apresentaram o melhor desempenho mecânico quando comparado as demais frações de fibra de curauá, resultando ainda em teores de absorção de água e porosidade aparente inferiores aos painéis com 15% e 20% de fibra. Como esperado, as propriedades mecânicas aumentaram em função do tempo. Todas as formulações dos painéis demonstraram redução da absorção de água e porosidade aparente com o avanço dos dias de cura. Dos resultados apresentados conclui-se que utilizando a fibra de curauá é possível obter compósitos laminados com resistências superiores às da matriz (P0) e com maior deformação na ruptura, o que caracteriza um suporte de cargas antes do colapso, que ocorre de forma lenta. É possível obter um produto com menor densidade, caracterizando assim produtos leves, o que impacta como possibilidade de redução de custos globais de construções, e ainda possui como atrativo o uso da fibra de curauá como um material ecologicamente correto, contribuindo para o desenvolvimento de materiais sustentáveis.

Referências

- [1] T. Hamouda, A.F.M. Seyam, K. Peters, Evaluation of the integrity of 3D orthogonal woven composites with embedded polymer optical fibers, *Compos. B Eng.*, 78 (2015) 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.092>.
- [2] H. Tian, Y.H. Cui, Y.X. Zhang, C. Yang, The application of general self-consistent model on mechanical behaviour of fibre-reinforced cementitious composites, *Constr. Build. Mater.*, 146 (2017) 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.045>.
- [3] A.G. Sarzalejo, B. Rossi, G. Perri, R. Winterberg, R.E.P. Aristeguieta, *Fibras como elemento estrutural para reforço de concreto*, Maccaferri, São Paulo, 2008.
- [4] H. Essabir, A. Elkhaoulani, K. Benmoussa, R. Bouhfid, F.Z. Arrakhiz, A. Qaiss, Dynamic mechanical thermal behavior analysis of doum fibers reinforced polypropylene composites, *Mater. Des.*, 51 (2013) 780-788. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.04.092>.
- [5] P. Peças, H. Carvalho, H. Salman, M. Leite, Natural fibre composites and their applications: a review, *J. Compos. Sci.*, 2 (2018) 66. <https://doi.org/10.3390/jcs2040066>.
- [6] K.F. Hasan, P.G. Horváth, T. Alpár, Lignocellulosic fiber cement compatibility: a state of the art review, *J. Nat. Fibers*, (2021) 1-26. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1875380>.
- [7] A. Achour, F. Ghomari, N. Belayachi, Properties of cementitious mortars reinforced with natural fibers, *J Adhes Sci Technol*, 31 (2017) 1938-1962. <https://doi.org/10.1080/01694243.2017.1290572>.

- [8] R. Codispoti, D.V. Oliveira, R.S. Olivito, P.B. Lourenço, R. Fangueiro, Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry, *Compos. B Eng.*, 77 (2015) 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.021>.
- [9] W. Liu, T. Xie, R. Qiu, M. Fan, N-methylol acrylamide grafting bamboo fibers and their composites, *Compos Sci Technol*, 117 (2015) 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2015.06.005>.
- [10] K. Wei, C. Lv, M. Chen, X. Zhou, Z. Dai, D. Shen, Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing, *Energy Build.*, 87 (2015) 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.026>.
- [11] A. Karimah, M.R. Ridho, S.S. Munawar, D.S. Adi, R. Damayanti, B. Subiyanto, W. Fatriasari, A. Fudholi, A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations, *J. Mater. Res. Technol.*, 13 (2021) 2442-2458. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.014>.
- [12] S.O. Amiandamhen, D.N. Izekor, A.O. Balogun, Performance characteristics of treated kenaf bast fibre reinforced cement composite, *J. Indian Acad. Wood Sci.*, 13 (2016) 156-160. <https://doi.org/10.1007/s13196-016-0180-8>.
- [13] G.K. Bilcati, A. Matoski, R. Trianoski, E.C. Lengowski, Effects of pre-treatment of Curauá fibers on compatibility with Portland cements, *Rev. Mater.*, 23 (2018) 1-12. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0524>.
- [14] L. Cechin, A. Matoski, A.M. Lima, A.M. Weber, R.B. Tokarski, Effect of treatments on high initial strength portland cement and mosso bamboo compatibility, *Rev. Ing. de Construccion*, 33 (2018), 127-136. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000200127>.
- [15] B. Zukowski, F. Andrade Silva, R.D. Toledo Filho, The influence of hot water washing cycles on tensile properties of curauá fiber. *Materials Research Proceedings*, 7 (2018) 373-382.
- [16] E. Aamr-Daya, T. Langlet, A. Benazzouk, M. Quéneudec, Feasibility study of lightweight cement composite containing flax by-product particles: Physico-mechanical properties, *Cem. Concr. Compos.*, 30 (2008) 957-963. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.06.002>.
- [17] A.E. Almeida, G.H. Tonoli, S.F.D. Santos, H. Savastano Jr, Improved durability of vegetable fiber reinforced cement composite subject to accelerated carbonation at early age, *Cem. Concr. Compos.*, 42 (2013) 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.05.001>.
- [18] E.Y.A. Okino, M.R. Souza, M.A.E. Santana, M.V.S. Alves, M.E. Sousa, D.E. Teixeira, Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood, *Cem. Concr. Compos.*, 26 (2004) 729-734. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(03\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00061-1).
- [19] J. Torkaman, A. Ashori, A.S. Momtazi, Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks, *Constr. Build. Mater.*, 50 (2014) 432-436. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.044>.
- [20] Z.A. Akasah, H. Dullah, N.M. Soh, N.A. Anak, Physical and Mechanical Properties of Empty Fruit Bunch Fibre-Cement Bonded Fibreboard for Sustainable Retrofit Building, *Int. J. Mater. Sci. Eng.*, 7 (2019) 1-9. [10.17706/ijmse.2018.6.2.56-66](https://doi.org/10.17706/ijmse.2018.6.2.56-66).
- [21] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5733:1991, Cimento Portland de alta resistência inicial, 1991.
- [22] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5737:1992, Cimentos Portland resistentes a sulfatos, 1992.

- [23] T. Hirschi, F. Wombacher, Influence of different superplasticizers on UHPC, In: Proceedings of the 2nd international symposium on ultrahigh performance concrete, 5-7 de Março, Kassel, Germany, 2008.
- [24] P.R.L., Lima, R.D. Toledo Filho, J.A. Melo Filho, Compressive stress-strain behaviour of cement mortar-composites reinforced with short sisal fibre, *Mater. Res.*, 17 (2014) 38-46. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000181>.
- [25] J.A. Melo Filho, F.A. Silva, R.D. Toledo Filho, Degradation kinetics and aging mechanisms on sisal fiber cement composite systems, *Cem. Concr. Compos.*, 40 (2013) 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.04.003>.
- [26] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM C 948:2001, Standard test method for dry and wet bulk density, water absorption, and apparent porosity of thin sections of glass-fiber reinforced concrete, 2001.
- [27] Rilem Technical Committee 49 TFR. Testing methods for fibre reinforced cement-based composites, *Mater. Struct.*, 17(1984) 441-456.
- [28] S.R. Ferreira, M. Pepe, E. Martinelli, E., F. Andrade Silva, R.D. Toledo Filho, Influence of natural fibers characteristics on the interface mechanics with cement based matrices, *Compos. B Eng.*, 140 (2018) 183-196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.016>.
- [29] H.A. Colorado, J.F. Zapata, Composites of Portland cement paste and sugarcane bagasse fibers: structure-property relation and Weibull statistics, *J. Mater. Environ. Sci.*, 10 (2019) 1162-1171.
- [30] N. Patel, J., Jain, An investigation on mechanical properties in randomly oriented short natural fiber reinforced composites, *Mater.Today: Proc.*, 37 (2020) 469-479. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.452>.
- [31] M. Péron, A. Céline, F. Jacquemin, A. Le Duigou, Hygroscopic stresses in asymmetric biocomposite laminates submitted to various relative humidity conditions, *Compos. -A: Appl. Sci. Manuf.*, 134 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.105896>.
- [32] M.T. Marvila, H.A. Rocha, A.R.G. Azevedo, H.A. Colorado, J.F. Zapata, C.M.F. Vieira, Use of natural vegetable fibers in cementitious composites: Concepts and applications, *Innov. Infrastruct.Solut.*, 6 (2021) 1-24. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00551-8>.
- [33] P.R.L. Lima, R.D. Toledo Filho, R. Neumann, J.A.O. Barros, Efeito do [33] A. Akinwande, O.A. Balogun, V. Romanovski, H. Danso, M. Kamarou, A.O. Ademati, Mechanical performance and Taguchi optimization of kenaf fiber/cement-paperboard composite for interior application, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 29 (2022) 52675-52688 <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19449-8>.
- [34] P.R.L. Lima, R.D. Toledo Filho, R. Neumann, J.A.O. Barros, Efeito do envelhecimento acelerado sobre as propriedades de microconcreto reforçado com fibras longas de sisal, *Ambiente Construído*, 19 (2019) 7-20. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000100289>.
- [35] N.K. Krishna, M. Prasanth, R. Gowtham, S. Karthic, K.M. Mini, Enhancement of properties of concrete using natural fibers, *Mater. Today: Proc.*, 5 (2018) 23816–23823. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.173>.
- [36] I.P. Salgado, F.A. Silva, Flexural behavior of sandwich panels combining curauá fiber-reinforced composite layers and autoclaved aerated concrete core, *Constr. Build. Mater.*, 286 (2021) 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122890>.
- [37] G. Silva, S. Kim, B. Bertolotti, J. Nakamatsu, R. Aguilar, Optimization of a reinforced geopolymer composite using natural fibers and construction wastes, *Constr. Build. Mater.*, 258 (2020) 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119697>.

ORCID

A.M. Weber 0000-0002-0991-1842 (<https://orcid.org/0000-0002-0991-1842>)
A. Matoski 0000-0001-5503-4943 (<https://orcid.org/0000-0001-5503-4943>)
L. Cechin 0000-0002-3735-1889 (<https://orcid.org/0000-0002-3735-1889>)
R.B. Tokarski 0000-0002-3256-6362 (<https://orcid.org/0000-0002-3256-6362>)